



TITLE:

場の理論の発展と日本(7.素粒子論
の未来へむけて,学問の系譜-アイン
シュタインから湯川・朝永へ-)

AUTHOR(S):

九後, 汰一郎

CITATION:

九後, 汰一郎. 場の理論の発展と日本(7.素粒子論の未来へむけて,学問の
系譜-アインシュタインから湯川・朝永へ-). 物性研究 2006, 86(3): 437-
450

ISSUE DATE:

2006-06-20

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/110508>

RIGHT:

場の理論の発展と日本

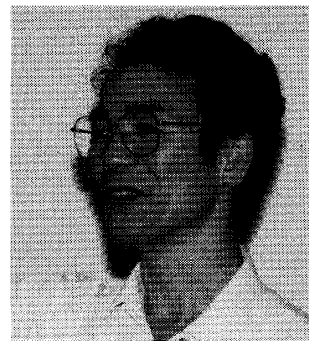
九後 汰一郎

実は坂東さんに与えられた題名が「場の理論の発展と日本」という恐ろしい題名でした。

なぜそんな羽目になったかといいますと、ある日僕は、特に素粒子論の標準模型の成立にあたって、日本には正当な場の理論がなかったのではないかということを、ちらっと言ってしまったのです。

[slide 1] それではその話をせよと。だけど気軽に日常会話で、こういう恐ろしいことを言うのは別に何ともないのですが、こういうまともな場でこういうことを言うと、非常に多くの人の気分を害し、なおかつもっと、歴史ですからちゃんと事実を調べて話をしなければいけない。

ところがこの点は、みなさんに許していただけのかも知れませんが、私、基礎物理学研究所というところの所長をやっております。ちょっと最近忙しくて、本当のところ調べることはできなかったのです。



日本に場の理論はなかった？

- 「日本に、正統的な場の理論はなかった」と不用意に発言 → この話をする羽目に
 - 60年代から70年初め頃
 - 正統的な≡標準模型の成立に寄与したような
 - 日本人ではなく、日本で
- 不用意:
 - 「本当か？」 → 検証が必要
- 本当なら何故か？

[Slide 1]

日本に場の理論はなかった？

- 昔はあった
 - 湯川： 中間子論は場の理論
配位空間上の波動関数
→ 3次元実空間上の場
 - 朝永： くりこみ理論、bosonization
- 坂田： 模型構築 → 日本が大きな寄与

この話では模型構築関係の話には触れない

[Slide 2]

ですから、僕の非常に良い加減な記憶、あるいは印象で話をしていますので、多分この話で非常に多くの方の気分を害することがあるかも知れない、そうなんですけれども、お許してください。

ですから、不用意ですね、本当かということ、とにかく検証しないといかん。もし検証をして、歴史を調べて、そういうことが本当だったら、なぜ日本で特にそうだったのかということ。日本でそうだったと思んですね。

[slide 2] 古くから言いますと、日本に場の理論がなかったかということ、そんなことはなくて、昨日からずっと言っていますように、湯川・朝永ともに、場の理論が好きというか、場の理論の大家だったわけです。

朝永さんもいろいろと書いていますが、けれども、湯川さんは、湯川・朝永の若いときに、もともと Schrödinger 方程式というのは配位空間上の波動関数で、われわれの3次元の実空間の波動関数ではないので、それが気に入らないと言っていたわけですね。

それに対して Heisenberg-Pauli とか、場の理論が出まして、場が存在するのはこのわれわれの3次元実空間上の場であるということで、そういうことで、湯川さんは場の理論を非常に気に入っています。基本的に湯川の中間子論も場の理論なわけです。

朝永さんはもちろん、繰り込み理論でノーベル賞をもらわれて、あるいは今朝

の朝永-Luttinger 理論と言いますか、あるいは2次元の bosonization と言いますか、そういう話でも、あるいは中間結合の理論でも、みな場の理論なのです。

ですから、両大家以来、日本で場の理論がなかったということは決してないわけで、むしろ場の理論において、初めて世界的な業績が、日本でなされてきたということなのです。

それに対して、一方坂田先生などは、1955 年あたりですが、坂田模型という模型を提案されて、それは名古屋でのいろいろな、名古屋大学近傍でも、牧先生、あるいは田中正先生、大貫先生、いろいろな方がいらっしゃいましたが、そこらへんの議論を通して、名古屋模型、あるいは坂田模型というのができてきて、それ以来、非常に大きな潮流となって、日本でそういう模型に関してはずっと世界的な業績を出してきたと思います。

しかし一方、もともとお家芸というか、得意であった場の理論において、特に問題にしたいのは、1960 年代ですね、場の理論があまりに日本でなかったのではないかという気がするんです。ちょっと模型で日本の業績が非常ににあったというのは、この話では、これ以降、触れないことにします。

ただあまりに記憶だけで話をしてはいけない、何か文献を調べないといけないということで、調べようと思ったのは Supplement ですね。Supplement でこれまでどれだけ、どういうものが出ているかというのを調べようと思ったのですが、あまりに散文的で面白くなって、止めたのですけれども、ちらっと見てもらったら良いと思います。

Progress of Theoretical Physics, Supplement ^{*1}

- 1955 **No. 1** Collected Papers on Meson Theory. I — Formalism and Models — (Introduction by S. Tomonaga)
No. 2 Collected Papers on Meson Theory. II — Intermediate and Strong Coupling Theories — (Introduction by H. Yukawa)
- 1956 **No. 3** Meson Theory. III — Nuclear Forces — (Introduction by M. Taketani)
- 1957 **No. 4** Relativistic Hydrodynamics of the Dirac Matter, T. Takabayashi
- 1958 **No. 5** Anomalous Magnetic Moment of the Nucleon, E. Yamada; Pion Theory of the Anomalous Magnetic Moment of the Nucleon, H. Hasegawa; Phenomenological Theory of Pion-Nucleon Reactions, S. Hayakawa, M. Kawaguchi & S. Minami; A New Mathematical Formulation of Quantum Mechanics in the Framework of Wave-Packet Theory, M. Namiki & R. Iino
No. 6 Origin of Cosmic Rays, S. Hayakawa, K. Ito & Y. Terashima; The Lateral and the Angular Structure Functions of Electron Showers, K. Kamata & J. Nishimura
No. 7 Theory of Scatterings and Reactions, Y. Yamaguchi; Conservation Laws in the Isotopic Spin Space and Their Violation by the Electromagnetic Interaction, M. Kato & G. Takeda; On the Structure of Interactions, H. Umezawa
No. 8 Hypothetical Velocity Measurements of a Dirac Particle, Z. Koba; Some Feasible Tests of Quantum Electrodynamics at Small Distances, S. C. Frautschi; Nuclear Moments and Configuration Mixing, H. Noya, A. Arima & H. Horie
- 1959 **No. 9** Non-Linear Field Theory (Introduction by H. Yukawa)
No. 10 The Relaxation Phenomena of High Polymer Substances (Introduction by J. Furuichi)
No. 11 A Composite Theory of Elementary Particles, Y. Yamaguchi; A Model of Strong Interactions, Y. Yamaguchi; Present Status of the Low Energy Nuclear Physics, Note of a Lecture given at the Institute for Nuclear Study, Tokyo University, on September 7, 1959, V. F. Weisskopf; The Wave Packet Interpretation of the Scattering, T. Sasakawa
No. 12 Exciton Problem (Introduction by T. Muto)

Volume No.1 あたり、この題名を青色で書いてあるやつが、だいたい場の理論ではないかと思われるものです。この No.1 から No.4 などは、みな場の理論みたいなものです。

No.5 からしばらくいって、黒あたりになると、Phenomenological Theory of Pion-Nucleon Reactions とか、これは早川さんが書いたものです。これは場の理論ではないのではないかと思われるものは、黒で書いてあります。物性論だとか宇宙線だとか、非常に現象論的な話というのは、場の理論ではないとしています。非常に恣意的ですからあまり気にしないでください。価値判断はあまり入っていません。青で書いてあるのは、だいたい場の理論かと思います。1958 年、59 年に、ちょっと場の理論が減ってくるというか、他の分野が増えてくるという感じもするのですが、だんだん薄くなります。ここは 1959 年というのがありますね。ここも青いものが減ってきています。

^{*1} 編者注：本プロシーディングスでは、当日のスライド 10 枚を表にまとめた。また、青色に分類されている article を含む巻を **No.xx** という様に巻名に下線を入れて示した。

-
- 1960 **No. 13** General Theory and Numerical Tables of Clebsch-Gordan Coefficients, T. Shimpuku;
Spinor Field and Its Transformations, Z. Tokuoka
No. 14 Properties of d-Electrons in Complex Salts, M. Kotani, Y. Tanabe & S. Sugano; Formal
Theory of Green Functions, T. Kato, T. Kobayashi & M. Namiki
No. 15 Some Aspects of Many-Body Problem, N. Fukuda & Y. Wada
No. 16 Some Topics in Cosmic-Ray Physics, I.N.S. AS Group, I.N.S. Emulsion Group, S.
Hayakawa et.al.
- 1961 **No. 17** Biophysics (Introduction by S. Oka)
No. 18 Parametric Integral Formulas and Analytic Properties in Perturbation Theory, N.
Nakanishi; Wightman Functions, Retarded Functions and Their Analytic Continuations, H.
Araki
No. 19 Structure of Elementary Particles, S. Sakata et al
No. 20 Origin of Cosmic Rays, V. L. Ginzburg & S. I. Syrovatsky; On the Mechanisim of
Stellar Explosion, Y. Ono, S. Sakashita & N. Ohyama
- 1962 **No. 21** Isoscalar Electromagnetic Structure of Nucleon, K. Kowarabayashi & A. Sato; Effects of
the Pion-Pion Interaction on Photonuclear Reactions, M. Kawaguchi & H. Yokomi;
Phenomenologizal Theories of Elementary Particle Resonant States, S. Minami; Consequences of
a Simple Model for Two-Channel Reaction in Field Theory, Y. Fujii & M. Uehara
No. 22 Evolution of Stars, C. Hayashi, R. Hoshi & D. Sugimoto
No. 23 Lattice Vibrations of Imperfect Crystals, M. Toda et al. ; pp 277
No. 24 Magneto-Fluid Dynamics, I. Imai et al
- 1963 **No. 25** Vibrational and Rotational Transitions in Molecular Collisions, K. Takayanagi
No. 26 Theory of Beta Decay, M. Morita; Clebsch-Gordan Coefficients for $j = 5/2, 3$ and $7/2$,
M. Morita, R. Morita, T. Tsukamoto & M. Yamada
No. 27 Nonrelativistic Scattering Theory, T. Sasakawa
No. 28 Simple Lie Algebras of Rank 3 and Symetries of Elementary Particles in the Strong
Interaction, M. Konuma, K. Shima & M. Wada
- 1964 **No. 29** Concepts of Space-Time in Physical Theories, T. Tati; Is the Space-Time Concept not
Presupposed Really in Tati's Theory?, R. Kawabe; Wave Packet Theory of Scattering, T.
Ohmura
No. 30 Origin of Cosmic Rays, M. Taketani et al.
No. 31 Structure and Evolution of Galaxies, M. Taketani et al.
No. 32 Emulsion Cloud Chamber and Related Topics, S. Hayakawa et al.
- 1965 **Extra Number** Commemoration Issue for the Thirtieth Anniversary of the Meson Theory, by
Dr. H. Yukawa
No. 33 Jet Showers Analysis, T. Kobayashi et al.
No. 34 Theory of Condensing Systems, K. Ikeda et al.
- 1966 **No. 35** The Path Probability Method, K. Kikuchi ; pp 64
No. 36 Contribution to the Theory of Linear Chains, M. Toda et al.
No. 37/38 Dedicated to Professor Sin-itiro Tomonaga on the Occasion of His Sixtieth Birthday
- 1967 **No. 39** Nuclear Forces. I — Nuclear Forces in Dynamical Region — (Introduction by M.
Taketani)
No. 40 Recent Progress in Molecular Physics — Dedicated to Professor Masao Kotani on the
Occasion of His Sixtieth Birthday —
Extra Number Experimental Data on Hadron Interactions in GeV Region, Y. Sumi et al.
- 1968 **No. 41** Theory of Elementary Particles Extended in Space and Time, H. Yukawa et al.
No. 42 Nuclear Forces. II — Nuclear Forces in Core Region —, N. Hoshizaki
Extra Number Dedicated to Professor Minoru Kobayashi on the Occasion of His Sixtieth
Birthday
- 1969 **No. 43** A General Survey of the Theory of the Bethe-Salpeter Equation, N. Nakanishi
No. 44 Spatial Correlation Functions For Quantum Systems, A. Ishihara et al.
-

それで、1960 年になると、青いものが少し減りますが、ここに燦然と輝いている Nakanishi、Araki というのが、No. 18 と No. 19 あたりにあります。

その下に S. Sakata、坂田さん et. al. の Structure of Elementary Particles、この赤いものは、別に敵視しているわけではないのですが、模型の話です。これ以降、模型は赤にしようと思ったのですが、時間切れで分類をもうやめまして、場の理論と思われるものだけを青にするという方針をとりました。

1962 年、63 年、64 年あたりで場の理論がかなり減っています。青が少ないですね。1965 年、66 年、それから 1969 年まで。1969 年も、燦然と輝いている中西先生の A General Survey of the Theory

of the Bethe-Sapleter Equation、これは非常に良い Supplement で、このおかげで Supplement の評価が上がっている面があります。これは非常に良い Supplement です。BS のサーベイです。何を言っているのでしょうかね。

-
- 1970 No. 45 Some Topics in the Theory of Lattice Dyamics, T. Fujita et al.
 No. 46 Some Topics in Solid State Physics — To Takeo Nagamiya on His Sixtieth Birthday —, J. Kanamori et al.
- 1971 No. 47 CHACALTAYA Emulsion Chamber Experiment and Related Papers, BRAZIL Group : Cesar M.G. Lattes et al. JAPAN Group : M. Akashi et al.
 No. 48 Symmetry of Strong Interactions, S. Nakamura et al.; Nuclear Structure Studied from Weak and Related Processes, M. Morita et al.; Hadronic Reactions and the Rearrangement of Sakatons, M. Imachi et al.
 No. 49 Evolution of the Universe and Formation of Galaxies; S. Hayakawa, H. Sato et al.
 No. 50 Philosophical and Methodological Problems in Physics, S. Sakata & M. Taketani
- 1972 No. 51 Indefinite-Metric Quantum Field Theory, N. Nakanishi; Regge Pole Model and Hadron Physics, Y. Hara
 No. 52 Alpha-Like Four-Body Correlations and Molecular Aspects in Nuclei, R. Tamagaki et al.
- 1973 No. 53 Statistical Physics of Random System, T. Matsubara et al.
 No. 54 Ultra-High Energy Phenomena and New State of Matter, M. Taketani, Y. Fujimoto & M. Nagasaki et al. ; pp153
- 1974 No. 55 Reductive Perturbation Method for Nonlinear Wave Propagation, T. Taniuti et al.
 No. 56 Development of the Nuclear Theory Based on the Realistic Force, H. Tanaka et al.
- 1975 No. 57 Selected Topics in Semiconductor Physics, Y. Hayakawa et al.
 No. 58 Elementary Modes of Excitation in Spherical Odd-Mass Nuclei, T. Marumori et al.
- 1976 No. 59 Exact Treatment of Nonlinear Lattice Waves, M. Toda et al.
 No. 60 Beta Decay and Nuclear Structure, M. Morita et al.
- 1977 No. 61 Few-Body Problems in Nuclear System, T. Sasakawa et al.
 No. 62 Microscopic Methods for the Interactions between Complex Nuclei K. Ikeda et al.
- 1978 No. 63 A Survey of Quark-Line Rule, S. Okubo; Constituent Rearrangement Model and Hadron Reactions, S. Otsuki et al.; Models of Bjorken Scaling Violation; K. Matumoto et al.
 No. 64 Nonlinear Nonequilibrium Statistical Mechanics — Proceedings of the 1978 Oji Seminar at Kyoto, July 10-14, 1978 —, H. Mori, et al.
- 1979 No. 65 Effective Interactions in Nuclear Models and Nuclear Forces, S. Nagata et al.
 No. 66 Local Covariant Operator Fromalism of Non-Abelian Gauge Theories and Quark Confinement Problem, T. Kugo & I. Ojima
 No. 67 Theory of Elementary Particles Extended in Space-Time, (Preface by H. Yukawa)
- 1980 No. 68 Comprehensive Study of Structure of Light Nuclei —Based on the Viewpoint of Alpha-Cluster Correlation and Molecular Structure —, K. Ikeda
 No. 69 Progress in Statistical and Solid State Physics — In Commemoration of Sixtieth Birthday of Ryogo Kubo —, Ed. by S. Nakajima
-

1970 年代に入りまして、1972 年あたりまでは、まだ場の理論があまりありません。だけど No.51 にいきますと、また中西先生が Indefinite-Metric Quantum Field Theory というものを書かれています。

その下の原康夫さんですけれども、Regge Pole Model and Hadron Physics は、また赤で書いて敵視しているわけではないのですけれども、場の理論ではない、アンチ場の理論というか、これもまた、ぜんぜん統一的ではないのですので、これ以降、こういう Regge Pole とかというのを赤にしているわけではないのですが。

ここには、場の理論と思われるものが、1973 年の松原さんのやつは場の理論かな。青がない印象が増えていますね。

それから 1978 年あたりになると、Bjorken Scaling Violation だとか、Local Covariant Operator とか、これは自分のやつだ。Kugo-Ojima とか、ちょっと場の理論が出てくるかなと。だけど 1970 年代にしては、えらくまだ少ないという感じがします。

こんなのを見てもあまり仕方がないのでやめますけど、もう一度言いますと、1960 年代、世界的にやはり場の理論というのは、信頼をなくしていたというのは確かなわけですが。それは結局のところ、強い相互作用の世界が、あまりに豊富な現象を出してきて、それに対して場の理論が有効な手立てを見出し得なかった。coupling が非常に強いということ以外に、まだそのハドロンの世界のもう 1 つ下のレベルがあるという認識がなかったせい、その二重の理由です。レベルの認識ができなかった

ということと、もう1つが strong interaction をどう扱っていいかわからなかったと。そのために、場の理論というのは一般的、世界的に、信頼を失って、それで 1950 年代、Dispersion だとか、1960 年代に入って、Analyticity だとか S-Matrix、Chew の Bootstrap とか、いろいろと、場の理論以外のことが、非常に席卷するわけです。そこに座長をしていらっしゃる大貫先生でさえも、その頃に、この基研の研究会で話をされるときに、ラグランジアンを一応書かれるのですけれども、書く前には必ず、ちょっと書いてみればとかいう、参考のためにとか、実は僕は聞いたことがないような気がするのですけれども。これは益川さんがいつも言っているのです。

大貫：たぶんそうです。

ラグランジアンを書くときは、必ず言い訳をしないと書けないという雰囲気だった、と。世界的にそうなのでも、日本では特にそうだったかのように思います。

私は 1971 年に大学院に入ったのですけれども、その頃勉強しましたのは、いろいろと勉強しましたが、教科書というか、Physics Report の Collins-Squires、Regge Pole のものすごい Physics Report というものがありまして、それには今だに悪夢のように覚えている名前は wrong signature nonsense zero だとか、何か良く分からない。それから Landshoff-Polkinghorne の analytic S-Matrix か何かの教科書があって、多変数関数の analytic function の解析性、あるいはその singularity の出現の理由だとか、そういう話。二変数解析関数を想像しようとしめすと、1 変数の複素数で平面、ガウス平面ですよ。2 変数だと、4 次元を想像しないとけないのです。その 4 次元空間で singularity が pinch するとか、そう言われると全く分からなくなるのですが、そういう話を延々としてある教科書があるわけです。それを読んで、私は非常に絶望的な気分になって、こんなことで素粒子論をやっているだろうかと思った記憶があります。

標準模型の成立に向けての 場の理論の系譜

- 標準模型
- Maxwell 理論、Einstein の一般相対論、以来の
基本理論の成立
- しかも、自然の相互作用の基本原理は、
ゲージ原理
である。ことを明らかにした。

[Slide 3]

1970 年代に、急速に electroweak interaction、Weinberg-Salam theory が確立し、strong interaction も同時に $SU(3)$ の QCD で良いのだというように、収束していくわけですが、その成立過程に向けて、日本のそういう、1960 年代の場の理論の動きがあったかということなのです。

残念ながら、なかったのではないかと、だから批判になって申しわけないのですけれども、とにかくこの場合、標準模型の成立というのは、結局のところ、全盛期の Maxwell 理論、それから 20 世紀初めの Einstein の一般相対論に次ぐ、基本理論の成立という意味で、非常に時代を画する理論成立であったわけです。

その理論成立が、1970 年代に行なわれ、それがわれわれの自然の相互作用に対する、非常に認識を新たにした、画期的な点はですね、相互作用のすべての基本原理がゲージ原理であるということを明らかにした点であると思うわけです。

その動きに対して、日本の寄与がどうだったかということなのですが、ゲージ理論について、これは去年、Yang-Mills の理論が発表されて 50 年というので、ある場の理論研究会で、僕がちょっと話

それはいいのですけれども、もう少し真面目な話をしますと、そういう時代で、自分の印象としては、日本には 1960 年代に正統的な場の理論がなかったと。

こう言うと、ものすごく気分を害される方が、非常にたくさんいらっしゃるかもしれないと恐れているのですが、正統的な場の理論と言いますのは、先ほど言いましたように、標準模型の成立に向けて、あまり歴史を、現在の立場から過去を振り返って、それを非難するようなことは、決してしてはいけないことなのですから、そういうことをやっていますね、今。

したときのまとめの表を流用させてもらっています。

1918	Weyl	<i>Gravitation and Electricity</i> Scale transformation of metric: $g_{\mu\nu}(x) \rightarrow \lambda(x)g_{\mu\nu}(x)$
1921	Kaluza	5次元重力 $\rightarrow g_{5\mu} = 2\alpha A_\mu$
1926	Klein	$g_{5\mu}/g_{55} = A_\mu$
'22 '26	Schrödinger	$\partial_\mu \rightarrow \partial_\mu - \frac{ie}{\hbar} A_\mu$
'26	London	$\psi \rightarrow \exp[\frac{ie}{\hbar} \int A] \psi$
1929	Weyl	<i>Electron and Gravitation</i> Zeit f. Physik ゲージ不変性 $e^{ie\lambda(x)}\psi(x)$ $\Rightarrow \begin{cases} \partial_\mu \rightarrow D_\mu = \partial_\mu - ie A_\mu \\ F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu \end{cases}$ ゲージ場の存在 極小相互作用 運動項
'35	湯川	強い相互作用の理論
1939	Klein	SU(2) gauge theory in Conf. Report (Kazimierz, Poland)
'49	朝永-Schwinger-Feynman-Dyson	QED くりこみ理論
	'50 Gupta-Bleuler	
1953	Pais	局所 isospin
	Pauli	SU(2) gauge theory in two Letters to Pais
1954	Yang-Mills	Phys. Rev. 96 (1954) 191
'55	Shaw	SU(2) gauge theory in Ph.D. Thesis
'56	内山	Phys. Rev. 101 (1956) 1597

[Slide 4]

[slide 4] こころへんは、もうみなさん、知っておられるから、あまり言っても仕方がないのですが、少しだけ、ゲージ理論の歴史をおさらいします。

1918年にWeylがGravitation and Electricityというので、metric $g_{\mu\nu}$ のローカルなスケール変換、これはconformal変換とか、Weyl変換とかと言われますが、この変換に対して不変性を要求しますと、重力と電磁相互作用は説明できるのではないかとWeylが言って、これがスケールを変えるので、ゲージ変換と呼ばれる名前の発端ですが、これは基本的にうまくいかないということをEinsteinが批判するわけです。もしこんなことをやっていたら、電子でも、あるいは時計でも、あるいはものさしでも、2つの違った経路に沿って、ものさしと時計を持てきますと、もう一度同じ点にきたときに、そのものさしの長さが違ったり、全く同じ時計なのに進み方が違ったりしているという様な、観測に矛盾することが起こるというので、これはすぐにだめになります。

その後、Kaluzaの5次元重力の一般不変性変換から、U(1)不変性を出すようなKaluzaの話があり、Kleinの話があり、1918年のWeylの話は、だめだったのですけれども、SchrödingerとLondonがその変換はスケール変換ではなくて、電子の場合、あるいはcomplexな、charged fieldの場の位相変換と考えれば問題がないのだと。特にSchrödingerは、前期量子論の、円周が波長の整数倍になるような軌道に乗っているような電子の場合は、位相まで元に戻るということを注意しています。

そういう批判を受けまして、Weylは1929年に、ついにElectron and Gravitation (Zeitschrift für Physik) という記念碑的な論文ですが、ここで最終的にゲージ不変性ということを認識するわけです。ゲージ不変性を要求すると、charged particleの位相変換ですが、ゲージ場が存在し、なおかつ微分は共変微分に置き換えられて、それによって、相互作用が生じると、さらにゲージ場のkinetic termも、いわゆる $F_{\mu\nu}$ という4次元rotationの場の強さの2乗というかたちで決まるというところまで書くわけです。

これは非常に重要で、Pauliはそれまで、Weylを非常にけなしていました。Pauliは、Weylを物理好きの、下手の横好きじゃなくて、何と言ったのでしょうか、非常に悪いことを言っていたのです。ところがこの1929年の論文にいたりまして、結局、本質はゲージ不変性の要求にあると。それによってphotonが存在することもminimal相互作用の形も全部決まるというので、これが電磁場の相互作用

用の基本原理であるということを、積極的なゲージ不変性の意味を認識したことになっているというので、Pauli はこの時点でやっと、Weyl の仕事を認めたのです。

ここを飛ばしましたが、1935 年に湯川の強い相互作用の理論がありまして、Klein がこの湯川の理論まで含めて、ここら辺に 5 次元理論があったのですが、Klein は、その自分の話を湯川の強い相互作用まで含めて、5 次元だったか 6 次元だったか忘れましたが、出そうというので、この $SU(2)$ のゲージ理論を higher dimension の重力理論から出して見せています。

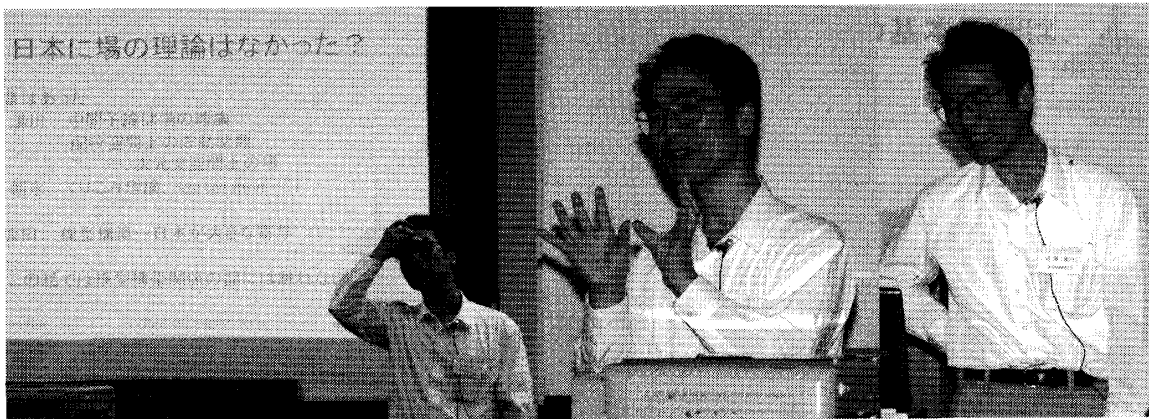
これで Yang-Mills の action は出しているのですが、ミニマム相互作用については、うまくやっていないのです。その間、朝永-Schwinger-Feynman の繰り込み理論がありまして、それで Pais が 1953 年になりまして、ローカルな isospin 不変性を、すみません、ここら辺の話は O'Raifeartaigh の書いた『The Dawning of Gauge Theory』の受け売りです。

ローカル isospin 不変性を置きますと、そういう相互作用が出せるのではないかということを、Pais がある会議で言います。その話を聞いていた Pauli は、先ほど言いましたように、Weyl の 1929 年の仕事を非常に褒めていましたので、そのことを思い出しまして、Pais の話を実際に実行してみました。そして $SU(2)$ のゲージ理論を実際に作ってみて、その $SU(2)$ の Yang-Mills action から、 $SU(2)$ doublet に対するミニマル相互作用まで、すべて正しい式を書いて Pais に送るのです。だけど Pauli はその論文を発表しなかったのです。それはもちろん、なぜかという、 $SU(2)$ doublet は縮退していますし、 $SU(2)$ のゲージ場は、全部 massless で、そんなものは世の中に存在しないということで、出さないのです。

だけど 1954 年に Yang-Mills はついにそれを publish します。実は、1953 年にプリンストンで発表するのです。しかも間の悪いことに、Pauli の目の前で Yang が発表するのですが、Pauli は非常に気に入らませんでした。すべて難しい問題を理解していて、しかも自分が発表しないものを発表してしまったので、非常に腹が立ったのでしょうが、プリンストンで Yang に発表をさせないためにすぐに質問を始めて、ゲージ不変性を要求すると massless になるから、それはだめだと言って、Yang に話を続けさせないということがあったので、Yang は怒って話をやめようとしたのですけれども、Oppenheimer がとりなしたとか、いろいろとあるのです。

それはそれとして、何の話をしているのでしょうかね。

これも昨日、南部先生のお話がありましたけれども、内山さんは、この 1954 年の春か何かに、ここ（基研）で発表をされていて、論文を書いて持って行かれていたのです。だけれども、着いた途端にまた、Yang がそういう話をしたということを Oppenheimer に聞いたのか、誰かに聞いて、Yang-Mills 理論については、全く同じだったので、発表を控えた。しかし、よくよく見てみると、内山さんは、Yang-Mills だけではなくて、重力理論も基本的に同じ構造であるということまで含んでいた。後で、2 年遅れになったけれども、出したという話がありました。



ph11

九後

1960	南部	<i>Gauge Invariance in Superconductivity</i>	
'60	J.J. Sakurai	Massive Yang-Mills for ρ	
'61	S. Glashow	Massive Yang-Mills for W, Z	
'61	Goldstone		
		'63 Feynman ghost	
'64 '66	Higgs		'66 中西-Lautrup 不定計量正準理論
'67	Kibble	'67 DeWitt ghost	
		'67 Faddeev-Popov	
1967	Weinberg-Salam	<i>Theory of Electron</i>	
'69	Adler, Bell-Jackiw		
'70	Callan, Symanzik		
1971	't Hooft	Yang-Mills くりこみ	← T.K. 修士入学
1972	小林-益川	6 元クォーク模型による CP の破れの理論	
1973	Gross-Wilczek	<i>Asymptotic Freedom</i> 発見	
	Politzer		'73 Nakanishi N-L での Higgs 機構

[Slide 5]

[slide 5] 僕が言いたいのは、これから後の 1960 年代なのですが、1960 年の初頭に、南部先生が、*Gauge Invariance in Superconductivity*、あるいはそれとよく似た題名の論文を出しました。昨日私がコメントしたのですが、ここに superconductor のすべてのこと、だから、 $U(1)$ invariance が spontaneous に破れて、それに対して massless の粒子が出てきて、その massless の粒子が photon に吸われて、photon が massive になると。それが Meissner effect であるということが、すべて書いてあるわけです。

このゲージ理論の利用に関しては、1960 年にすでに J. J. Sakurai さんが、これも南部先生のお話にありましたが、 ρ meson に対して、massive Yang-Mills 理論、massive Yang-Mills というのは、Yang-Mills 理論に対して mass term を勝手に手で加えるだけなのですけれども、それを提唱しています。それから Glashow が、これも W boson、 Z boson に関して、massive Yang-Mills。これも mass term を手で加えています。だけどこれは最終的には、Weinberg-Salam モデルの理論と同じ構造の理論で、mass term だけ手で加えたというやつです。それが 1961 年に出ています。

1961 年には、すぐさま Goldstone の定理、Goldstone の論文が出て、この spontaneous breaking に関しては、1964 年、66 年に Higgs の論文、それから 67 年に Kibble と。Kibble の論文が 1967 年に出ますと、すぐさま、その年に Weinberg の理論が、*Theory of Electron* という論文が出ました。これもすばやいです。

ここで注意しておきたいのは、そういうふうに spontaneous breaking ということで、ゲージ場が massive になるべきだという mechanism を、Higgs、Kibble で明らかになった途端に、Weinberg がすばやくやったということは、非常に見習うべきだと思うのですが、同時に注意したいのは、そういう Goldstone、Higgs、Kibble、こういう流れの仕事と、同時に 1963 年には Feynman が ghost が必要だと、Yang-Mills の場合は ghost を入れないと、unitarity が壊れるということ、非常に Feynman graph の経験として、one-loop で出しています。それから 1967 年には、De Witt という人が、この one-loop を超えて、任意 loop まで、その ghost をどういうルールで入れるべきかということ、明らかにしています。だけどその論文を非常に長大な論文で、非常に読みにくいのですが、それを同じ 1967 年に、Faddeev と Popov が、path integral で、非常に明解に出してみせている。そういう仕事が一方向であるわけです。

こういう流れというか、こういう仕事はどうして日本になかったのかなというのが、ちょっとそのことが疑問なのです。

1969 年、Adler, Bell-Jackiw の anomaly の話があり、1970 年に Callan と Symanzik が Callan-Symanzik equation というものを出しています。これは非常に重要な仕事で、この Callan-Symanzik equation で、coupling がエネルギーに依存して変化していくという、いわゆる running coupling constant という概念が出てくるわけですね。

それで、特に Symanzik は、その頃、SLAC で deep inelastic scattering があって、エネルギーを上げると coupling constant が弱くなっていくように見えるという実験事実があるのですが、それに対して、そういうエネルギーを上げると coupling が小さくなるような理論があるのかというようなことを、Symanzik が問題にしていたのです。

それをアメリカでも、問題にして、片っ端から理論を調べた人がいるのです。Anthony Zee です。Zee は全部調べたのです。ただ、Yang-Mills は、Feynman rule が難しかったので、Yang-Mills 以外は全部調べた。だけど coupling は全部、エネルギーを上げると強くなる方で、結局、見つからなかったのです。

そういう流れで、突然 1971 年に 't Hooft が Yang-Mills の繰り込み可能性を証明するわけですが。

1971 年に T. K. 修士入学と書いてありますのは、私のことでありまして、この頃に入ってきたわけですね。もう少し早ければ、私は Yang-Mills の繰り込みを証明できたかということ、そんなことは、全然ないのですけれども、ちょっと遅れた感じ。何を言っているのでしょうか。

1972 年には、小林-益川の 6 元模型による CP の破れの理論が出ます。これもすばやかったですね。1971 年あたりに繰り込み可能性が証明されて、1972 年にくらいにそろそろ、1967 年の Weinberg の理論が注目を集めつつあるのですね。実際に 1972 年には、neutrino の実験が始まって、neutral current を探そうという実験の動きもあって、Weinberg model が注目を集めだすのですが、その頃に小林-益川が、このモデルを出したのです。これも小林-益川がなぜこういうものを考えたのかというのは、大貫さんが suggest したとか、いろいろと話があるのですが、それは置いておきます。

1973 年に、ついに Gross-Wilczek と Politzer による asymptotic freedom の発見があるという流れになっているのです。

1974	Ken Wilson	<i>Lattice Gauge Theory</i>	
1974	Georgi-Glashow	<i>SU(5) GUT</i>	
	Georgi-Quinn-Weinberg		
1974	't Hooft-Polyakov	<i>monopole</i>	
	'75 Nielsen-Olsen	<i>vortex</i>	
	'75 Bogomol'nyi-Prasad-Sommerfield (BPS)		
1975	Becchi-Rouet-Stora, Tyutin	<i>BRS 変換</i>	
			'78 Kugo-Ojima
	'79 Fujikawa	path-int measure \rightarrow anomaly	$Q_B phys\rangle = 0$
	:		
1984	Green-Schwarz	Anomaly cancellation in $d = 10$ SYM with $SO(32)$, $E_8 \times E_8$	
1995	Seiberg-Witten	exact sol. for $\mathcal{N} = 2$ SYM	
	Seiberg	$\mathcal{N} = 1$ Seiberg's ele.-mag. duality	
	Polchinski	D-brane	
		S, T, U duality	
		M-theory	
1997	Maldacena	AdS/CFT 対応	

[Slide 6]

基本的に、Weinberg の理論と、Gross-Wilczek, Politzer で QCD が strong interaction の本当の理論だということが、特に Bjorken scaling の scaling violation が決定的な証拠になって、確立するという流れを見ますと、南部先生の 1966 年か 67 年あたりのハン-南部とか、あるいは color の話を抜いてしまいましたけれども、先ほど言いましたように模型の話はなるべく抜いている。場の理論として、なぜこういうことが、あまり日本ではなかったのかな、ということでこの年表を書いています

ので。

- 内山
- 梅沢、亀淵、大貫
- 西島、中西
- 荒木、江沢
- 後藤、高林
-
- が、もっと影響を与えられなかったか？

[Slide 7]

[slide 7] 一方、日本にも、もちろんそういう場の理論がなかったわけではなくて、こちら辺のすごい人たちが、内山先生だとか梅沢、亀淵、大貫、西島先生、中西先生、「先生」を付けたり付けなかったり、荒木先生、江沢先生、後藤先生、高林先生、こちら辺の人たちがいらっしやって、それぞれ寄与をなされていると思います。

しかも僕は、中西先生とか西島先生の教科書だとか、中西先生の講義だとかには、非常に影響を受けているのですが、何か日本の場の理論は、あまり広がりがないというか、コヒーレントでなかったような感じがするわけですね。

今説明しました、Standard Model の成立の流れの中で、あまり日本の場の理論が寄与できていないということを残念に思う。

こういうことを言うと、本当に気分を害される方がいらっしやることをわかっていて、非常に言いにくいのですが、ただもうちょっと、物理から少し離れますけれども、場の理論という意味では、formal な formulation というのが非常に重要だと思うのですが、その面では、やはり私の先生の中西-Lautrup というのが、1966 年に、不定計量の canonical な理論を出していますし、この話とか、それから Bethe-Salpeter 方程式の先ほどの Supplement がありましたけれども、そういう講義を、私が修士に入学して、中西先生から習いましたけれども、そういう場の理論の formal な方では、ちょっとここに僭越ながら書かせて頂いたのですが、小嶋さんと、ゲージ理論における physical state、あるいは Hilbert 空間というのは、BRS operator、BRS cohomology と言いますか、nilpotent な state の quotient space、商空間で考えるべきだとか、先ほどの言葉で言うと、BRS cohomology なのですが、そういうことで考えないといけないというようなことを言いました。

そういう流れはあるのですが、僕の言っているのは、日本における場の理論で、南部先生なんか、やはりアメリカにいらっしやって、アメリカの文化圏というか、アメリカでなされた仕事なのですね。だから日本のコミュニティとして、場の理論がゲージ理論の成立において、あまり寄与できなかったという気がします。

あまり人が気分を害されると、非常に嫌なので、こういう題名を与えて頂いた坂東先生を非常に恨んでいるのですが、本当は事実を検証しないといけないのですが、そうだとしますと、なぜそういうことになっているのかと。

場の理論不信は日本が特に顕著？

- 何故か？
 - 不信ではなく不在
 - 若い人が研究の中心を担っている
 - 古手が主導していない
 - そのため、流行に敏感に追随する
- 't Hooft の仕事は米国ではなくヨーロッパで現れた
 - 地道な、息の長い研究を、許容する必要
 - 広い裾野
 - 古手が雑用に押しつぶされてはいけない

[Slide 8]

[slide 8] 日本が特に場の理論を信じなかったわけではないと思うのです。そうではなくて、あまり層が薄いというか、場の理論をやっている人があまりいなかったというのか、あるいは若い人が、この日本の状況は、現在でもそうなのなのですが、若い人が研究の中心を担っているのです。中堅を超えて古手になりますと、ほとんど研究をしていない。そのために、どういうことが起きるかといいますと、若い人ばかりですから、若い人はあまり経験がないので、現在流行っていることに非常に敏感に反応するわけです。そうすると、若い人が主体になっていると、ザッと流行のほうにいつてしまうわけです。

そうすると、あの 1960 年代というのは、結局のところ、場の理論というのはあまり信頼されなく

て、Bootstrap だとか、analytic S-matrix だとか、そういうところに追従する人が多かったのではないかと思います。追従する人ももちろんいるべきで、いて良いのですけれども、なにかやっぱり、地道にやっていく部分も必要なんです。

1970 年の't Hooft の繰り込み可能性の仕事が、アメリカではなくてヨーロッパで現れたということは非常に象徴的だと思うのです。やっぱりアメリカも、日本と少し似ていて、アメリカは非常にスペクトラム、幅・裾野が広いので、日本ほど顕著ではないのですけれども、やはり流行のほうにガツといくわけですね。

ところがヨーロッパというのは、俺はこれをやるんだといったら、それが流行ろうが流行るまいが、ずっとそれをやっている、地道な、息の長い研究を許容する風土が、ヨーロッパにはあるわけなのです。

Veltman などが多分、そうだったのか知りませんが、一所懸命やっていて、その Veltman のもとで、't Hooft が解いてしまったというか、あれも解いたというよりも、これは繰り込み可能なんだ！、と宣言しただけのような感じかもしれませんが、それが偉いところです。Veltman はあまり、そんな大それたことは言わなかったわけですね。若いから言えるという面がありますね。あの't Hooft の証明は、今だに私はよく理解できませんけど、まあ、良いや。

Supplement: Complaint

- BRS(T) formalism
 - BRS 演算子 Q
 - 物理的状態 $Q | \text{phys} \rangle = 0$
 - 物理的空間 = BRS cohomology
- しかし、Becchi-Rouet-Stora 達は
完全な経路積分法による定式化であり、
演算子形式は一切議論していない。

[Slide 9]

そのような、いろいろなところを地道にやっている人が幅広くいると。そのピークから、ずっと広い裾野が、研究者として裾野があるということは、非常に重要であります。

最後に赤字で書いていますけれども、古手が雑用に押しつぶされるようなことではいけない。いつまでも、やはり古手が、ここは大事なんだと手本を示さないといけないのではないかと。

[slide 9] こんなことを言っているけれども仕方ないのですけれども。すみません。今のスライドは complaint を書こうとしたのですが、ちょっと省略。

討論

大貫：たいへん重要な話で、これはきちんと議論してよく考える必要があろうかと思います。長く話すつもりはありませんけれども、要するに研究にバラエティがないのです。つまり、こちらがだめでもこちらが生きるといふ、それを許容する雰囲気が少なかった感じが、私の経験ではいたします。おずおず私がラグランジアンを書いたかどうか覚えていませんが、多分そうだったのでしょ。そのような雰囲気は確かにありました。

gauge theory が広く受け入れられなかったということは、この雰囲気と非常に関係があると思います。特に湯川先生は局所場の理論には全く関心をもたれなかった。ゲージというのは局所場の特徴を全面的に使うわけです。だから、湯川先生はもう、それを言っただけで、喜ばずはないですね。もちろん、湯川先生を喜ばせる必要は全くないのですが、それに抗して、もっとバラエティのある議論がどこかでやられてよかったし、encourage されるべきであった、それがどうなんだろうと言うことがあると思うのです。

これには私も意見がありますが、座長が喋りすぎると具合が悪いので、なるべく多くの方からご意見を出していただきたいと思います。

九後：湯川先生は 1971 年か 72 年に退官されて、だけどその後もここで定期的に混沌会というのをされていたのです。2 階のコロキウム室で。

1974 年か何かに、吉川さんがアメリカから帰ってこられて、ちょうど Kaku- Kikkawa の String Field Theory を作った後なのですね。それで大阪に着任されたのですけれども、そこで混沌会に呼ばれて、string の話をしに来られたのです。あのとき、上から下までジーパンと G ジャンというのですか、ものすごい格好良い感じだったのですけれども、湯川先生の前でそんな格好をしていいのかと思ったのですけど。

彼は string の場の理論を作って、string というのは、non-local だと言えば non-local です。

湯川さんにきつと褒めて頂けるというので、意気揚々として混沌会で話されたのです。だけど、ものすごく湯川さんは機嫌が悪かったのです。全然褒めてくれなかったと言っていました。

南部：それはなぜですか。

九後：結局、string というのは、local field theory 以上に local ですね。相互作用はまったく本当に local だし、それから広がってはいるけれども、二重の意味で local のような感じがしますね。見方によれば。

南部：朝永さんも bilocal という名前が？。

九後：あれはもともと、全く2点が有限距離離れていますから。だけど string というのは、ダットつながっているわけですね。だから普通の場合の理論以上に、ある意味では発散がもっとたくさん出るというか、duality なんかを考えなければ、普通の point particle の場の理論よりも発散はきついのです。だけど、実は duality や modular 不変性というのがあって、そうではないんですけど。

大貫：ご質問なり、何かどうぞ。

南部：今のお話は確かにそうだと思いますけど。私の外側から見た経験でもそうだと思うのですけれども、結局、日本だけでは世間が狭いという、だから全世界で見ないと、今の話、アメリカでも't Hooft のような仕事はなかったわけです。全世界で見ればまあ、それでうまくいっているのかも知れませんね。

それから、あまり、先生が仕事しないと言いましたけれども、あまり偉い人の力が強すぎるのも困るわけです。例えば逆に、湯川さんがあれだけの湯川理論ができたのは、たまたま日本にいたからで、もしヨーロッパにいたら Pauli なんかに潰されていたという、そういう可能性は大いにあるわけです。だから、一概に日本が悪かったとも言えないと思うのですが。

それからもう1つはですね、数学者との連携、interaction というのは緊密にあったかどうかということですね。例えば物理の。それがちょっとお聞きしたいのですけど。もし何か意見がありましたら。

九後：本当にそこら辺はもっと調べないといけないなと思います。特にコメントを、江沢先生が後でやっていただけなので、特にあそこら辺の、荒木先生とか axiomatic ですね、あそこら辺の話を私はほとんど知らないの、調べないといけないと思っていたのですけれども。江沢先生、後でコメントを。

田中：今、出された問題に関係ある1つのことなのですからけれども、僕はもう1つ不思議だと思っていることがあるのです。湯川先生が中間子論を出された頃、ヨーロッパでは場の理論に対する不信感が強かった。しかし、日本の研究者は場の理論を正しいものと信じていたのではない。朝永先生の繰り込み理論もそうです。この信頼があるときひっくり返る。空間反転に対する場の不変性が仮定であったことを知って、「Pauli にすっかりだまされた」と湯川先生がおっしゃったのです。そうしたら朝永先生も「うん、俺もそうなんだ、騙された。全く騙された」と。

それはこういうことです。Lee-Yang の仕事が出た後です。しかし Lee-Yang の仕事の1年前に、Pauli が strong reflection の論文を書いています。strong reflection というのは、space reflection に対する場の理論が、場が決して invariant であるとは限らない。そういうことを前提にしているわけです。

ですけれども、お2人の先生は、まず大学で勉強するのは、Heisenberg-Pauli の論文であって、その三部作を非常に良く、一所懸命勉強、私たちも勉強させられましたけれども、一所懸命勉強したのです。勉強していると、それはすでに出来上がったものだとして受け取って、そしてそれ自身に問題があるというよりは、それをお使いになることができる。

ヨーロッパの人よりも、場の理論に問題があったのではなくて、場の理論がいろいろと無限大の問題あったけれども、量子化された場の理論がすでに出来上がった道具として、受け取ることができたために、中間子場という、その次の場の延長を考えることができたのではないかと僕は思うのです。しかしその後、その結果として、場の理論の直接の対象とする研究ということには割合関心は本当はなくて、一足飛びに non-local に行かれたと思うのです。

その頃に一つ、私は見た場面があるのです。それはどなたか申しませんけれども、ある人がこういうことをおっしゃいました。何人かの人がいたのですが、「内山のでかい頭を叩いてみれば、ゲージ、ゲージと音がする」。そういう噂を聞いて、びっくりしましたがけれども、それが

囃子言葉として通じるような雰囲気があったように思います。

ですからその辺全体を見てみれば、やはり出来上がった理論を輸入して受け取ったことの悲劇が、両面に出ているのではないかという気がします。

中西：九後くんの話を聴いて非常にびっくりしたのですけれども、1960年代に場の理論が、日本であんまりなかったと言われることは非常に心外です。

あの頃は別に場の量子論をやっていなかったわけではなくて、analyticityとかRegge pole、まあ、みんな場の理論の一部だと思っていたのです。ずっと、だから何もS-Matrixは全く亜流だと思っていたので、極端に場の理論、日本ではS-matrix theoryがそんなに流行っていたわけではないと思うのですが、解析性の話はやっていましたけれども、場の理論のS-matrix theory オンリーという話では、あんまりなかったと思うのです。

私は流行に鈍かったかも知れないのですけれども、別にずっと場の理論をやっていた積もりで、特に1960年代に場の理論が衰えていたと、私はあまり感じません。特に南部先生のNambu-Jona-Lasinio以降は、ずっと場の量子場的な考え方で行っていたと思うのです。ちょっとその辺は理解が違う、感じ方が違うのかしら。場の量子論の定義如何に依るのかと思うのです。

大貫：解釈の統一をここではやる必要はないわけで、むしろいろいろな意見が出てくることが大切だと思います。実はnon-localは湯川先生の専売ではなくて、non-local interactionとかnon-local actionとか外国でも盛んに議論された。1940年代の終わりから1950年代の前半にかけてのことで、これは発散を含む局所場の理論への信頼が失われたことによります。わが国ではYang-Feldmanの相互作用表示の理論を、非局所相互作用をも含め得るように一般化することが、Takahashi-Umezawaによってなされました。相互作用表示では、一般に時間推進の演算子は、相互作用ラグランジアンにnormal-dependent termなるものが付いたかたちをとります。量子化の整合性を保ちつつこれを決める処方が、彼らによって与えられたわけですが、差し当たりは摂動計算に頼らざるを得ない。昨日お話しをされた林先生がそれを行いまして、4次まで計算するとcausalityを破る項がnormal-dependent termに現れることを見つけました。そこで理論を修正して6次を調べるという大変な計算を実行しました。これは53年の京都の国際会議で発表され、大いに注目をされた研究の一つです。ですから、この種の仕事は海外でも関心が高く、日本だけが局所場離れしたわけではないのですが、ただわが国ではボスの発言が強かったことも確かでしょうね。1955年の後半以降、坂田先生は、field theoryなんか重箱の隅をつつくようなものだという、少なくとも名古屋ではそういう雰囲気はあったように思います。私は坂田先生の前で、ある時期以降ラグランジアンを書いた記憶はありませんが、名古屋を離れて基研の研究会では書きました。ただおずおずだったかも知れない。

私事ですが、坂田先生の前で、field theoryに基づいたややformalな仕事を話したことがあります。しかし先生はそれは全然面白くないと言われた。自分では面白いと思い、他の方も面白いと言ってくれましたが、評価しませんでした。

そういう雰囲気はあったけれど、本当はそんなものを気にしてはいけないうのでしょね。だけどやっぱり若者は、ああいう偉い先生ががんと言うと、ちょっとたじろぎますね。もちろんそれは私自身がまだ至らなかったせいでしょうが、私よりも若い世代の人はもっと強く影響をうけた可能性はあると思います。いずれにせよ、これは様々な角度から考えてみて、現在にapplyする必要があるかと思います。

今日はいろいろと貴重なご意見を有り難うございました。まだ何かご意見はあるでしょうか。

佐々：意見じゃなくて質問ですけど良いですか。戦中や戦後すぐの時代では、論文を製版して、みなさんに回して理解が進んでいったという話を昨日聞きましたが、今だったらインターネット一発ですよ。例えば1960年代の終わりだと、Faddeev-Popovの話とか、Weinberg-Salamの話は、どれぐらいのdelayで伝わったのでしょうか。情報伝達の手はどんな感じだったのでしょうか。ということ、九後さんに聞くのもおかしいのかもしれませんが。

九後：私は研究を始めたのがM1に1970年に入学して、1972年ぐらいには修士論文の準備みたいなことを始めましたけれども、その頃、やっぱりもっとも早い情報伝達手段というのはプレプリントというやつですね。それだと、論文ができてから届く。近くにいる人は、もう論文を書く前に聞いていますから、2、3カ月は遅れている感じがしました。実際にその3カ月のせいで、

僕はある仕事をふいにしてしまった、非常に残念な記憶が一つありますが。

佐々 : 例えば Faddeev-Popov の仕事ですが、問題点は、多分、その頃には分かっていたと思うのですが、すけれども、Faddeev-Popov の結果についてあんなほどと皆さんが認知したのは、何年ぐらいたと思えば良いのでしょうか。1970 年には認知されていたか。

国廣 : 問題意識がないんじゃないでしょうか。

九後 : Faddeev-Popov を認識した人が日本にいたかというとは分かりません。

Yang-Mills の繰り込みをするためには、絶対にそれは必要だったわけですが、't Hooft はなぜそれを知っていたかという、Veltman が Faddeev-Popov の論文のレフェリーをやったのです。Veltman がたまたまそれを知っていて、その経由で 't Hooft は知っていた。

南部 : これは私自身の経験ですけれども、いつの間にか、プレプリントが私のところへ届いたので、誰が送ってくれたのかは覚えていないのですけれども、それを見たときにショックを感じました。

一つ覚えているのは、そのとき藤川さんがボストンでシカゴにいた。その前は Princeton で Treiman の学生だったと思いますけれども。それで、藤川さんにそれを見せた覚えがあるのです。後で藤川さんに聞いたら、それが非常に大変な印象を受けたということを知りました。

だから私も、大体ものを、みんなプレプリントでもらってきたわけですが、Faddeev-Popov の paper がどこから回ってきたか、それは全く覚えていません。直接ではなかったと思います。

九後 : 1972 年あたりに、't Hooft の論文が難解だったので、1972 年あたりに Benjamin Lee と Zinn-Justin の論文が出て、Ben Lee が、この 1967 年の Faddeev-Popov の論文を、あれはロシア語で出したのかな、英訳して、プレプリントで全世界に回していました。だから 1972 年ごろには出回っていましたけれども・・・おかしいな。Physics Letters に出ていましたね。

南部 : Physics Letters ですね。

九後 : あれはプレプリントが出回っていましたね。それは Ben Lee が訳したのですね。だから本論文を訳したのでしょうか。

南部 : そうだろうと思います。確かにそれはロシア語ではなかったです。

江口 : それは長いやつを訳した。

九後 : 長いやつを訳して回したのです。記憶が混乱しています。

江口 : Physics Letters、あれは、結局誰も・・・

九後 : 誰も気付いていない。

江口 : 私もその頃学生だったので、どんな感じだったかと言いますと、まず大体経路積分の量子化というのを知らなかったのです。't Hooft の論文が出た後で、それを使って物理をやるという、Weinberg が論文を書いて、それでゲージ理論が盛り上がったのがあると思うのですが、その参考文献に 't Hooft というのが出てきて、それから Higgs と Faddeev-Popov とか Kibble とかが出てきたのですが、どれも聞いたことがないような感じでした。だから、標準的なトレーニングとしては全くなかったのではないのでしょうか。特に経路積分は、多分どこでもやっていなかったと思いますが、正準量子化みたいなものはある程度やって、QED ぐらいで済み、あとはそれ以上は入らなかったと思います。Faddeev-Popov というのは全く聞いたことがなかったです。

大貫 : まだいろいろと議論があるかと思いますが、また何かの折りに議論を深めることが必要かと思いますが、今日はこのぐらいで、時間の関係がありますので、切り上げて、次のスピーカーに移りたいと思います。どうもありがとうございました。

次は江沢さんのお話ですが、題がお配りしてあるプログラムとは変わって「場の量子論の数学的解析」という題でお話して頂きます。